

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra pozemního stavitelství

Technologie pro rekonstrukce a zesilování zděných konstrukcí

Technology for reconstruction and strengthening of masonry

Student:

Roman Tietz

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D.

Ostrava 2011

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

Obsah

1. Úvod	5
2. Problém technologie pro rekonstrukce a zesilování zděných konstrukcí v minulosti a v současnosti 6	
2.1. Historie a současnost výstavby a rekonstrukcí zděných konstrukcí	6
2.2. Charakteristické poruchy zděných konstrukcí, příčiny jejich vzniku	10
2.3. Diagnostika zděných konstrukcí, průzkum zděných konstrukcí jako způsob pro určení správné volby technologie	15
2.4. Způsoby rekonstrukce a sanace zděných sloupů, zděných konstrukcí	18
3. Kompozitní materiály pro zesilování a vyztužování konstrukcí	25
3.1. Kompozitní materiály jako součást moderního stavitelství	25
3.2. Rozdělení kompozitních materiálů	26
4. Sanace pomocí speciálních pryskyřic	33
4.1. Epoxidové pryskyřice	35
4.2. Polyuretanové pryskyřice	36
5. Srovnání metod pro rekonstrukce a zesilování zděných konstrukcí	37
6. Závěr	39
Příloha č. 1 - Ukázka ze zkoušení a aplikací kompozitních materiálů	40
Příloha č. 2 - Ukázka z praktických realizací	42
Příloha č. 3 - Ukázka výpočtu zesílení konstrukce	43
Literatura	49

1. Úvod

Aniž si to člověk uvědomuje, s problémem rekonstrukcí zděných budov se setkává v každodenním životě. Stačí si projít nejen historická centra měst, ale i běžné ulice a pokaždé se setkáváme s domy, zděnými konstrukcemi, které se buď rekonstruují, nebo se k rekonstrukci teprve připravují. Orientace v dané problematice vyžaduje značné zkušenosti v oboru rekonstrukcí, pozemního stavitelství a statiky. V nejednom případě se můžeme setkat s konstrukcemi, které díky svému staří vyžadují důkladnou, pečlivou a hlavně opatrnou opravu tak, aby nedošlo k většímu poškození, ale zároveň si zanechala původní historický vzhled.

V současnosti se do popředí zájmu dostávají kompozitní materiály, jakými jsou uhlíková, skleněná nebo aramidová vlákna, a to především díky svým vlastnostem.

Cílem bakalářské práce s názvem „Technologie pro rekonstrukce a zesilování zděných konstrukcí“ je představit nejen v současnosti používané metody pro rekonstrukce a zesilování zděných konstrukcí, ale také nové způsoby a technologie, které se v rámci vývoje dostávají do popředí.

2. Problém technologie pro rekonstrukce a zesilování zděných konstrukcí v minulosti a v současnosti

2.1. Historie a současnost výstavby a rekonstrukcí zděných konstrukcí

První cihelné obytné a stavby občanské vybavenosti se začaly stavět na počátku 20. století dle tehdejších platných stavebních zákonů, jakými byly Stavební řád pro království české [3], Zákon č. 211 o stavebních úlevách [43], Zákon o stavebním ruchu [44], zákon č. 144/1920 Sb., apod. Společně s tehdejšími zákony se začaly objevovat i první normy např.: v roce 1929 ČSN 10550 [1], 1953 ČSN 73 14331 [2]. Zmiňované normy sloužily k návrhu tloušťek nosných zdí. Tyto zákony, předpisy, normy, pro nás představují bohatý informační zdroj v rámci rekonstrukcí zděných konstrukcí. Odborná znalost výše uvedených zákonů nám dovoluje upřesnit hodnocení stavebně technického stavu budov s ohledem na šetrné provedení modernizace popř. rekonstrukce a chránit je tak před neodborným zásahem, který by mohl vést k nenávratnému poškození.

Pro představu je vhodné si uvést některé části ze Stavebního řádu z roku 1886 [3] :

1) Obytné domy neměly více než čtyři podlaží mimo přízemí včetně polopatra (mezaninu), přičemž veškeré obytné místnosti měly mít světlou výšku nejméně 3 m, klenuté místnosti měly mít výšku 3 m ve střední kótě vyrovnávací. Výška domu neměla přesahovat 25 m a podlaha nejvyššího obytného patra neměla být výše než 20 m nad povrchem ulice.

2) Zákon určoval rozměry cihel pro zdění jednotné – 290 x 140 x 65 mm (klasický formát) a případně tzv. cihly tříčtvrtinné – 210 x 140 65 (německý formát). Uvádí se, že konstrukce je třeba dimenzovat podle statických výpočtů. Tloušťka zdi byla odstupňovaná po 150 mm.

3) Pro výšku podlaží 4,2 m byla jako nejmenší předepsaná tloušťka zdi 0,45 m (1 a ½ cihly) v nejvyšším podlaží.

4) Zdi ve sklepech měly mít tloušťku větší o 0,15 m (½ cihly) oproti přízemí.

Z výše uvedených částí Stavebního řádu z roku 1886 [3] můžeme usuzovat, že již v tehdejší době byly nároky na výstavbu zděných budov poměrně podrobné. Obecně cihlové bytové domy té doby měly podobné konstrukční uspořádání, kdy se nejčastěji skládaly z 2-5 nadzemních podlaží, kde je charakteristické podélné uspořádání nosných zdí. Tyto zdi, které byly prováděny v druhé polovině 19. století, jsou převážně z lomového nebo smíšeného zdiva a jejich tloušťka se převážně pohybuje v rozmezí 600 – 900 mm. Od konce 19. století se začíná v hojné míře prosazovat zdivo z cihel plných rozměrů tzv. klasického formátu 290 x 100 x 65 mm. Kolem roku 1920 se začaly používat na některé části zděných objektů cihly děrované, cihly s podélnými dutinami, ale také pálené cihelné tvarovky.

Toto zdivo se v Čechách a na Moravě vždy omítalo, avšak existují výjimky v oblastech na severu a severozápadě Čech.

Stropní konstrukce byly nejčastěji prováděny z cihelných kleneb uložených na zdivu, především na počátku 20. století, postupem času se objevují ploché klenby, betonové, dřevěné popř. keramické stropy. Významnou část vícepodlažních zděných budov tvoří průčelní a střední zdi, na kterých jsou uloženy stropní konstrukce. Průčelní a střední zdi zajišťují stabilitu nosného systému v podélném směru. V příčném směru mají velký význam pro stabilizaci schodišťové zdi, štítové zdi, zděné příčky tloušťky 150 mm a 300 mm. Zděné příčky spřahují podélné nosné zdi a přispívají tak k prostorovému působení nosného systému.

Na toto je třeba pamatovat při rekonstrukcích, kdy se často opomíjí problém, že masivní obvodové zdi mají určité rezervy ve stabilitě v příčném směru a samy o sobě nejsou schopny přenášet účinky vodorovných sil (např. rozdílná teplota, sedání, dynamické účinky dopravy, vítr). Proto než začneme bourat nenosné zdi a příčky, měli bychom důkladně posoudit případné dopady na konstrukci. Při neuváženém bourání příček, popř. nenosných zdí, kterým na první pohled nepřikládáme větší pozornost, ale ve skutečnosti mají daleko větší význam pro samotnou konstrukci, může dojít k narušení konstrukce, vzniku trhlin na obvodovém zdivu z důvodu nerovnoměrného sednutí konstrukce, porušení konstrukce v důsledku menší stability a následného působení větru apod.

Nedílnou součástí zděných objektů je také jejich zastřešení. Zde se prováděly výhradně krovové konstrukce s pálenými taškami, avšak v období funkcionalismu se symbolem „moderní architektury“ stala plochá střecha.

Pokud se přesuneme do současnosti, zjistíme, že téma rekonstrukcí a zesilování zděných konstrukcí je velice aktuální. Je třeba si uvědomit, že každá zděná konstrukce stárne a podléhá různým degradačním procesům.

Proto obecně údržba a obnova zděných konstrukcí a budov jako takových se stává předmětem zvýšeného zájmu výzkumu. Ten se především zaměřuje na posuzování stavebně technického stavu a životnosti staveb, problematiku zvyšujících se požadavků na spolehlivost, energetickou náročnost, vlivem na životní prostředí a další.

Především ochrana historicky cenných stavebních památek vyžaduje výzkum v oblasti konzervačních materiálů, které mají zabránit účinkům degradačních procesů, dále v oblasti vzájemného působení materiálů s ohledem na jejich použití u dané památky, popř. jejich zdravotní nezávadnost. Všechny tyto činnosti vyžadují dlouhodobé sledování a následné vyhodnocování chování změn stavebních konstrukcí a materiálů, které byly použity na jejich výstavbu, v rámci určení příčin jejich poruch.

Zvýšený zájem je v současnosti orientován na modernizace zděných a panelových konstrukcí, kdy při jejich obnově a rekonstrukci využíváme poznatky výzkumu řady nových materiálů a technologií, které nám nejen prodlouží životnost, sníží cenu, pracnost na jednotlivé etapy rekonstrukcí, ale také nám umožní zmenšit omezení provozu v době rekonstrukce daných budov na nutné minimum.

Jak již bylo řečeno, pro správný návrh rekonstrukce objektu je nutné správně posoudit jeho stavebně technický stav, který posuzujeme stavebně technickými průzkumy. Z těchto průzkumů získáváme data, jakými jsou stav rozhodujících konstrukcí, možnosti dalšího funkčního využití, sanace objektu a další. Nedílnou součástí těchto dat jsou také základní plošné, objemové příp. další informace sloužící k identifikaci objektu.

Důležitým pojmem, se kterým jsme se setkali v úvodu bakalářské práce, je rekonstrukce. Pod pojmem rekonstrukce si každý z nás může vybavit něco jiného, a proto je dobré upřesnit si, co se vlastně tímto pojmem myslí. Než začneme se samotným vysvětlením pojmu, nebude na škodu srovnat si pojmy oprava a rekonstrukce.

Pojem oprava můžeme rozdělit na 3 části – malá oprava, velká oprava a generální oprava. U prvně zmiňovaného způsobu se jedná z velké části o náhradu menších součástí konstrukce, která byla poškozena jednorázovým zásahem. Velká oprava se oproti malé liší pouze svým rozsahem, který, jak už název sám vypovídá, je většího charakteru. Třetí a poslední způsob opravy je generální oprava, která znamená opravu příp. obnovu podstatných částí objektu, které již ztratili svou funkci.

Naproti tomu rekonstrukce objektu popř. stavby je regenerační zásah do konstrukčního, materiálového, ale i technického a technologického řešení objektu, na základě kterých chceme uvést objekt do původního stavu popř. změnit uspořádání, rozsah jeho konstrukčních částí.

Rekonstrukcí můžeme také myslet proces, díky kterému zvyšujeme historickou hodnotu objektu, sanujeme vady, zlepšujeme jak funkční požadavky tak i stavebně technický stav a další. Všechny činnosti zahrnující v sobě pojem rekonstrukce musí být také v souladu s platnými právními předpisy.

Objekt můžeme zrekonstruovat způsobem, který respektuje původní historickou, architektonickou a stavební podobu nebo také způsobem, kdy zachováme pouze historicky a architektonicky významné části objektu a provedeme rozsáhlejší zásah v další části objektu, který už respektuje budoucí využití (vestavba vnitřní konstrukce novou technologií, popř. zachování pouze obvodového zdiva apod.)

Při rekonstrukci daného objektu je třeba si uvědomit několik faktorů, především ekonomických.

Z těch nejdůležitějších je dobré uvést:

- náklady na celou realizaci našeho stavebního záměru
- náklady na budoucí provoz objektu (především na energie a následnou údržbu)
- porovnání cenových nabídek a technologií jednotlivých firem, které mohou dělat nemalé rozdíly ve výsledné částce
- budoucí využití objektu a příjmy z toho plynoucí
- dopad rekonstrukce na životní prostředí (např. k okolním zástavbám)

Samozřejmě existuje spousta dalších faktorů, které nám ovlivňují výslednou rekonstrukci objektu, ale mělo by se začínat od základu, což znamená posouzení stavebně technického stavu, ekonomického faktoru, výběr správného dodavatele, technologie a způsobu rekonstrukce až po výslednou realizaci.

2.2. Charakteristické poruchy zděných konstrukcí, příčiny jejich vzniku

Zdivo je v současné době nejpoužívanější materiál na stavbu konstrukcí jakými jsou například nosné stěny, sloupy, příčky, komíny, ale můžeme jej také nalézt u základů starších objektů. Používáme jej na konstrukce, které jsou ve větší míře namáhané tlakem, jelikož zdivo má velmi malou únosnost v tahu a ve smyku. Pevnost zdiva v tlaku závisí na mnoha faktorech, jakými jsou např.:

- volba správného zdícího prvku, jeho rozměry, pevnost v tlaku a tahu
- volba správného druhu malty, její pevnost v tlaku, tahu, soudržnost s ostatními zdíci prvky
- tloušťka ložných spár
- technologie provádění zdiva

V návaznosti na těchto faktorech můžeme usuzovat, že spousta vad a poruch zděných konstrukcí je zapříčiněna nedostatečnou kvalitou použitých zdících prvků, nedostatečnou kvalitou použité malty (vysoká nasákavost, malá pevnost v tlaku), nerovnoměrnou tloušťkou ložných a styčných spár apod. Přirozené stárnutí a degradace zděných konstrukcí, společně s fyzikálními, chemickými a biologickými vlivy jsou dalšími faktory, které nám způsobují vady a poruchy výše uvedených konstrukcí.

Před samotným vymezením jednotlivých poruch si uvedeme pár základních pojmů, které najdeme v [4]. Poruchou rekonstrukce se rozumí změna konstrukce proti původnímu stavu, která je vyvolána zatěžovacími účinky a vlivy ve stádiu realizace a užívání zhoršující její spolehlivost. Naopak vada konstrukce je nedostatek konstrukce způsobený chybným návrhem nebo samotným provedením. Nosná způsobilost je v této normě charakterizována jako schopnost konstrukce plnit požadované nosné funkce z hlediska mezních stavů únosnosti a použitelnosti při působení statických a dynamických zatížení.

Dalším velmi důležitým faktorem je rozdělení poruch do dvou kategorií - statické a nestatické.

Statickou poruchu si můžeme definovat jako odezvu zděné konstrukce na statické zatížení, na statické zatížení s dynamickou složkou. Nejčastějším projevem statické poruchy jsou trhliny, drcení, popř. lokální mechanické poškození a přímo souvisejí se statickým chováním dané nosné konstrukce, přičemž mohou i ohrozit celkovou stabilitu objektu.

Naproti tomu u nestatické poruchy se setkáváme s působením biologických vlivů, teploty, chemických vlivů, ale také i vlhkosti, které postupně způsobují zhoršování konstrukce, následně její znehodnocení v krajním případě i rozpad.

2.2.1. Statické poruchy

Jak již bylo uvedeno, výše statickou poruchu definujeme jako odezvu konstrukce na statické zatížení, popř. na statické zatížení s dynamickou složkou. Nejviditelnější složkou uvedené poruchy je trhlina, která nám umožňuje lokalizovat místo, kde napětí překročilo mez pevnosti daného materiálu. Při poškození konstrukce trhlinou je nejprve důležité určit nakolik je trhlina závažná. Může se stát, že trhlina je pouze estetickou vadou objektu (např.: smršťovací trhliny v omítce) a nezpůsobuje žádné zhoršení stavu konstrukce. Naopak proti tomu trhlina, která vznikla jako důsledek pohybu části konstrukce, je již závažná a je nezbytné se jí zabývat.

Trhliny můžeme rozdělit do tří kategorií – tahové, tlakové a smykové. Jednotlivé tvary, šířky, vzhled trhlin nám už na první pohled mohou napovědět, o jaký typ poruchy se jedná. Musíme dbát na to, aby trhlina byla posuzovaná na nosné konstrukci po odstranění omítky, příp. obkladu, kde trhlina může mít rozdílný tvar i šířku.

Tahovou trhlinu poznáme podle zřetelného oddálení části konstrukce od sebe. Tlaková trhlina se od tahové liší ve způsobu projevu, kdy dochází k drcení a odpadávání materiálu. Velmi dobře poznáme daný jev u omítky. Posledním typem trhliny je smyková, která se projeví rovnoběžným posunem ve směru trhliny obou od sebe oddělených částí, příp. jejich pootočením.

Pro určení závažnosti je možno použít tabulku, která se nachází v [5].

Před samotným započítáním sanačních prací, je důležité věnovat pozornost stavebnímu průzkumu, na základě kterého zjišťujeme:

- vzhled trhlin
- místo, množství a stáří trhlin
- příčiny vzniku trhlin
- stáří trhlin

Po provedení stavebního průzkumu je nutné rozhodnout nakolik je porucha závažná.

Při trhlinách závažného charakteru musíme učinit taková opatření, kterými dočasně zabezpečíme ohroženou konstrukci, popř. část stavby. Z opatření můžeme jmenovat omezení provozu objektu, provizorní sanaci atd.

Trhlinám na objektu je třeba věnovat pozornost již od prvního zjištění. Sledování trhliny probíhá delší časový úsek (6 měsíců – 1 rok).

Pokud trhlina během této doby nevykáže žádný pohyb, můžeme ji prohlásit za pasivní. V opačném případě je trhlina aktivní. K tomuto pozorování používáme jednoduchého ukazatele v podobě sádrové destičky, která má tloušťku 8 – 10 mm a osadí se na trhlinu. V místě provedení se zdivo oklepe od omítky, navlhčí se, aby došlo ke spojení destičky se zdivem. Na každé straně musí přesahovat 8 – 10 cm a nedílnou součástí je datum osazení.

V praxi se můžeme setkat s těmito nejčastějšími příčinami vzniku trhlin, které lze rozdělit do dvou kategorií – nerovnoměrné sednutí základů a přetížení konstrukce.

Nerovnoměrné sednutí základů, může být způsobeno těmito faktory:

- **objekt nebyl založen v nezámrazné hloubce** – tato chyba nám způsobí,



Obr. 1. Trhliny jako viditelný projev nadzvednutí základů [8]

že při teplotách nižších než 0°C, dochází k zamrznání vody obsažené v základové půdě (tím dojde ke zvětšení objemu a zvýšení tlaků). Následkem toho dochází k nadzvednutí základů, jejichž viditelným projevem jsou právě zmiňované

trhliny, popř. nadzvednutí základů vede ke vzniku dalších poruch.

- **změněný vodní režim v základové spáře** – tento jev je způsoben např.: podmáčením základů v důsledku zvýšení hladiny podzemní vody, při snížení hladiny podzemní vody, poruchou vodovodu nebo kanalizace, podmočením základů v důsledku zatékání dešťové vody apod.
- **neprovedení dělicích spár** – lze zpozorovat u objektů, které byly založeny na nestejnorožném podloží, u části objektů s různým zatížením, popř. různou výškou, mezi stávajícím objektem a novou přístavbou apod.

- **posunem základové půdy** – podkopání základové spáry v důsledku blízkého provádění výkopu, objekty situované na svahu, chybné založení sousedního objektu, apod.

V rámci přetížení konstrukce můžeme charakterizovat dva způsoby – přímé a nepřímé přetížení.

Prvně uvedený způsob je vyvolán důsledkem nesprávného užívání objektu nebo nesprávně provedené nástavby, u které dochází ke zvýšení zatížení, než bylo původně předpokládáno. Tyto trhliny se neobjeví hned, ale s určitým časovým odstupem, kde prvek překročí svou stanovenou mez únosnosti. U nepřímého přetížení sledujeme účinky vyvolané sednutím zdiva, jeho smršťování, tepelné účinky atd.

2.2.2. Nestatické poruchy

Nestatickou poruchou rozumíme vzájemnou interakci materiálů použitých na konstrukci a vnějšího prostředí, která se nám projevuje zvýšenou vlhkostí, biologickými, chemickými nebo také mineralogickými procesy. Všechny tyto jevy nám zhoršují požadované vlastnosti konstrukce, což má za následek postupné znehodnocení popř. rozpad konstrukce.

Z hlediska vlivu na zděnou konstrukci je vlhkost v různých podobách jednou z nejzávažnějších nestatických poruch. Vlhkost ve zděné konstrukci může vzniknout z několika příčin. Jako první můžeme uvést špatnou hydroizolaci spodní stavby, popř. hydroizolace, které postupem času ztratily částečně nebo zcela svou funkci. Tento jev se nejčastěji vyskytuje u historických budov, popř. u budov, které jsou určeny k méně náročným účelům. V takovýchto případech se můžeme setkat se situací, kdy hydroizolace nebyly vůbec provedeny. Dalším z faktorů způsobující vlhkost je špatný návrh izolace stavby, s kterým potom souvisí vady vzniklé nekvalitním provedením izolace stavby. Špatný návrh izolace většinou vzniká tehdy, kdy zpracovatel návrhu podcení a špatně posoudí podmínky pro založení budovy a navrhne nedostatečnou hydroizolaci.

Správný návrh ale neznamená, že hydroizolace bude fungovat správně, jelikož během realizace může dojít ke špatnému provedení. Nejčastěji je způsobeno vadnými spoji jednotlivých hydroizolačních pásů, provádění prací v nevhodných klimatických podmínkách, špatně provedenými detaily napojení a ukončení izolace při styku s terénem.

S vlhkostí souvisí také další jevy v podobě výskytu plísní, hub, popř. dalších mikrobiologických škůdců. Výše zmíněné jevy projevující se na zděné konstrukci závisí na využití jednotlivých místností, resp. částí budov, na počtu výskytu osob, způsobu a intenzitě větrání apod.

Je třeba zmínit, že některé poruchy konstrukce způsobené vlhkostí by nevznikly v případě zatížení čistou vodou. V mnoha případech voda v sobě obsahuje další látky, které se rozdílným způsobem podílejí na rozrušování či poškození povrchu stavebního materiálu. Celé to můžeme shrnout pod název chemické degradační děje a procesy. Mají za následek zhoršení jednotlivých vlastností, jakými jsou hygroskopicitata, nasákavost, pevnost, elektrická vodivost atd. Například různorodý obsah solí ve zdivu má za následek, i když jsou



Obr. 2. Projev zvýšené vlhkosti ve zděné konstrukci [9]

klimatické podmínky stejné, poměrně značné vnitřní pnutí po průřezu zdi, což vede k odlupování povrchových vrstev zdiva.

Voda zvyšující vlhkost ve zděné konstrukci se označuje jako technologická a dělí se na 4 kategorie – vodu kyselou, vodu hladovou, vodu síranovou a vodu humusovou a hlinitou.

Kyselá voda obsahuje základní složku a to oxid uhličitý CO_2 . Její nebezpečí spočívá v ochuzování malty o složku uhličitanu vápenatého. Na povrchu zděné konstrukce se pak nejčastěji projevuje bílým povlakem. Oproti tomu

vody síranové, jak už sám název napovídá, obsahují kyselinu sírovou, síranové soli nebo také sirovodík, popř. kyselinu siřičitou.

Vodou hladovou můžeme nazvat obyčejnou dešťovou vodu, která není nasycena rozpustnými látkami, a svým působením rozpouští především nekarbonizovaný hydroxid vápna.

Pro statiku zděné konstrukce jako celku je závažným problémem působení agresivní vody. Zejména jsou ohroženy základy a zdivo podzemních podloží, jelikož v cihelném zdivu může voda vzlínat až do výše 3 m.

2.3. Diagnostika zděných konstrukcí, průzkum zděných konstrukcí jako způsob pro určení správné volby technologie

Diagnostika zděných konstrukcí je jednou z nejdůležitějších částí po zjištění poruch ve zděné konstrukci. Pomáhá nám při rozhodování o správné volbě technologie při opravě, popř. sanaci, vyhodnocuje poškození zděné konstrukce a také nám poskytuje důležité informace pro odborné zpracování projektu opravy. Nesprávně provedená diagnostika má za následek chyby v projektovém řešení opravy a následně nové vzniklé poruchy vyplývající z těchto chyb.

Posouzení zděných konstrukcí by měli provádět pouze zkušení odborníci s mnohaletou praxí, aby nedocházelo již k výše zmiňovaným chybám.

Samotná diagnostika začíná nejprve orientační prohlídkou stavby. Za pomoci této prohlídky můžeme zjistit celkový vzhled dané zděné konstrukce, určit si postup jednotlivých průzkumů, popř. také hrubý odhad cenových nákladů na opravu nebo sanaci. Zkušení odborníci dokážou říci, jaké druhy zkoušek budou potřeba.

Podrobná prohlídka následuje po orientační, zde již pracujeme s archivními podklady (pokud se jedná o historický objekt, popř. objekt vystavěný v dřívějších letech), stavebními plány, dále také s veškerými podklady náležící zděnému objektu. Nedílnou součástí podrobné prohlídky je také popis stavu konstrukce, především rozsah jejího poškození. Nesmíme také opomenout, pokud se jedná o zděný objekt, procházení v rámci celého objektu. Součástí takto provedené prohlídky je obsáhla fotodokumentace, společně s textovým a výkresovým zdokumentováním poškozené konstrukce. Pokud bude potřeba, můžeme např. jednoduchým poklepáním kladívka na zděnou konstrukci zjistit její stav. Postupujeme nejlépe od sklepních prostor až po střešní konstrukci.

Na základě těchto informací zpracováváme plány stavebního průzkumu a s tím souvisejících zkoušek.

Stavební průzkum nebo také stavebně – technický průzkum se skládá z 3 částí a to – předběžný, podrobný a doplňkový.

Předběžný stavebně – technický průzkum se zaměřuje na všechny dostupné informace o stavebním objektu. Jako příklad můžeme uvést projektovou dokumentaci, stavební projekt, informace o způsobu využívání nebo také o případných dodatečných úpravách, normy a předpisy, které se používaly v době výstavby objektu.

Součástí výše uvedeného průzkumu je zjištění základních údajů o materiálech použitých na výstavbu, skutečný stav konstrukce jako celku, např.: viditelné trhliny, opotřebení konstrukce, apod.

Při podrobném stavebně – technické průzkumu je nutné věnovat velkou pozornost stavu nosných konstrukcí a zjištění s tím související. Samotné zjištění stavu nám následně ovlivňuje rozhodování při výběru správné technologie provedení rekonstrukce. Zařazujeme zde informace o stavu základových konstrukcí, stejně tak i nosných konstrukcí, balkonů, krovů a v neposlední řadě střešních konstrukcí. Soustředíme zde co možná nejvíce informací odpovídající skutečnému stavu (rozměry, skladby použitých materiálů a jejich charakteristiky, stavebně technickým vlastnostem objektu – jeho tepelně – technické posouzení, akustické aj.) Zvýšenou pozornost věnujeme základovým poměrům. Zde je důležité důkladně prozkoumat hladinu podzemní vody a její následné působení na základové konstrukce, jelikož podzemní voda může být velkým zdrojem vlhkosti v objektu, což negativně působí především na materiál objektu.

V rámci podrobného průzkumu bychom měli kontaktovat osoby, které objekt využívají, znají a mohou nám sdělit cenné informace týkající se právě použitých materiálů, základových poměrů, popř. také úprav objektu, realizovaných během jeho životnosti.

Ve fázi doplňkového průzkumu si už jen doplňujeme chybějící informace o technických vlastnostech materiálů, provádíme vyhodnocení příčin poruch a vad. Pro přesné doplnění stavu nejčastěji využíváme různé druhy zkoušek, které jsou pro odborníky výborným zdrojem informací, proč daná porucha vznikla apod.

Zkoušky provádíme pro zjištění pevnosti, dále pro posouzení fyzikálních vlastností materiálů, nebo také pro určení vlhkosti a salinity. Při zkouškách únosnosti se zaměřujeme především na typ konstrukce, použité stavebné hmoty, vazbu zdiva, průřezu, což jsou charakteristické znaky. Jednotlivé typy zkoušek nám určuje [4]. Pomocí zkoušky pevnosti zjišťujeme pevnost v tahu za ohybu, pevnost v tlaku, popř. pevnost v rozštěpení. Poslední zmiňovaná zkouška se v České republice neprovádí. Výsledkem zkoušek pevnosti v tahu za ohybu, pevnosti v tlaku apod. jsou statická zhodnocení. Oproti tomu například zkouška mrazuvzdornosti nám ve vyhodnocení ukazuje jak je zdivo trvanlivé.

U posuzování fyzikálních vlastností je cílem podrobně určit materiály a jejich vlastnosti. Abychom vlastnosti mohli určit, je důležité znát pevnosti těchto materiálů, schopnost absorpce vody, odolnost vůči povětrnostním vlivům.

U vlastností malt je důležité její složení, druh a obsah pojiva atd. Zjišťujeme to pomocí zkoušky, která se nazývá „analýza malty“. Provádíme ji metodou silikátového rozboru, který nám určuje druh a množství pojiva, popř. také Scheiblerovým přístrojem, který nám naopak určuje obsah karbonátů.

Pro posouzení vlhkosti v rámci analýzy vlhkosti a salinity je důležité určení obsahu vody, nasákavosti a rovnovážné vlhkosti, ze kterých zjistíme stupeň zavlhčení. U určení salinity nám pouze stačí analýza množství vodorozpustných solí. Mezi soli, které nejvíce poškozují stavební materiály, řadíme sírany, dusičnany a chloridy. Pro dostatečné zpracování statistického souboru považujeme odebrání min. 6 vzorků z jednoho dílu vizuálně stejně poškozeného. V rámci tohoto dílu odebíráme vzorky ze tří míst o různých výškách a v minimálně dvou hloubkách. Zde hodně záleží na konkrétním případě a odborníkovi, který si volí četnost odběru vzorků.

Cílem uvedených zkoušek jsou podklady určené odborníkům, kteří rozhodují o volbě a způsobu provedení rekonstrukce daného objektu. Pokud se vrátíme k prvně uvedené zkoušce – zkouška únosnosti, musíme ověřit, zda u zdiva před, během a po provedení rekonstrukce nemůže dojít k narušení statiky. K tomu nám slouží nejenom jednotlivé typy zkoušek, ale také celkové zhodnocení dalších vlivů působících na zdivo (např.: zatížení sněhem a větrem, provoz, vibrace, otřesy, popř.: změny teploty, znečištěné ovzduší v podobě chemických účinků, fyzikální účinky ve formě případných erozí apod.) Mezi zkoušku únosnosti patří např. zkouška pevnosti v tlaku. Vzorek se odebírá pomocí vrtného jádra průměru 5 cm. Výsledkem této zkoušky je statické zhodnocení zkoušky a následné vystavení protokolu o zkoušce. Další typy zkoušek, způsoby jejich provádění, vyhodnocení najdeme v těchto normách [4], [6] a [7].

U vlhkosti a vodorozpustných solí je nutné co možná nejpřesněji určit a definovat jednotlivé příčiny. Z toho posléze vybíráme, určujeme požadavky na způsoby sanačních opatření a použitých materiálů. Při výskytu vodorozpustných solí jsou pro odborníky důležité hodnoty blízko povrchu zdiva do hloubky 3 cm.

2.4. Způsoby rekonstrukce a sanace zděných sloupů, zděných konstrukcí

Jak již bylo uvedeno výše, nedílnou součástí rekonstrukcí a sanací zděných konstrukcí je stavebně – technický průzkum, na základě kterého se určuje vhodný způsob a technologie, jak je provést. Vždy musíme volit takový způsob, který je šetrný k samotné zděné konstrukci, popř. samotnému objektu, jelikož při nesprávně zvoleném druhu rekonstrukce a volby technologie může dojít k nenávratnému poškození.

Viditelné projevy statických poruch zdiva, jsou trhliny. Mohou signalizovat jak lehkou poruchu dané zděné konstrukce, tak i, v horším případě, mnohem závažnější, která v důsledku může vést k silně narušené statické objektu, příp. zděné konstrukce.

Součástí stavebně – technického průzkumu je zhodnocení stavu trhlin a rozhodnutí o jejich sanaci. Sanaci trhlin rozdělujeme jako sanaci provizorní a sanaci trvalou.

Provizorní sanaci trhlin lze co do způsobu používání označit jako poměrnou častou. Využíváme ji především u objektů, které jsou v havarijním stavu a dočasnou sanaci získáváme čas na další průzkumy a rozhodování o způsobu rekonstrukce. Může také sloužit k bezpečnostnímu zajištění objektu, aby nedošlo k ohrožení kolemjdoucích lidí, příp. odborných pracovníků, kteří se zde pohybují. Tento způsob sanace je u každé konstrukce, objektu zcela individuální a vždy záleží na aktuálním stavu a rozhodnutí odborných pracovníků. Někdy je provizorní sanace otázkou času, neboť prodlužování rozhodování o způsobu technologie, rekonstrukce apod. může vést k samotné destrukci objektu.

Jako příklad si lze uvést situaci, kdy vedle stávajícího objektu se staví nová, vyšší, moderní budova, která v sobě obsahuje podzemní garáže. Zde je nutné stávající objekt zabezpečit tak,



Obr. 3. Zabezpečení vedlejšího domu při stavebních pracích [10]

aby nedošlo k jeho významnému poškození. Jedná se především o zajištění štítové stěny stávající budovy pomocí ocelových válcovaných profilů, aby na sousedícím pozemku mohla probíhat výstavba.

Pokud se rozhodneme pro sanaci trvalou, máme několik možností jak ji provést, např.: injektováním, zatmelením, stažením ocelovými táhly, stažením ocelovými předpjatými lany, opláštěváním a torketováním, obetonováním pilíře,

Prvně uvedený způsob trvalé sanace se používá v případech, kdy chceme zdivo zabezpečit staticky nebo v případech, kdy jej sanujeme v důsledku nadměrné vlhkosti. V rámci



Obr. 4. Injektáž zděné konstrukce [11]

statického zabezpečení se jedná o odstranění trhlin ve zdivu. Zde je ale nutné dávat pozor, zda je trhlina aktivní či pasivní. Injektování ze statických důvodů lze provádět pouze u pasivních trhlin. U aktivních trhlin je injektáž pouze jako doplňková metoda pro zajištění proti dalším pohybům zdiva.

Injektáž lze obecně charakterizovat jako aplikaci chemického prostředku do zděné konstrukce, především do jejich pórů, dutin atd. Po aplikaci vhodného chemického prostředku nám vznikne celek, který má lepší požadované vlastnosti, vyšší únosnost, apod.

Na návrh správného injektážního materiálu má vliv především účel injektáže a také druh konstrukce, která bude injektována, což u nás představuje zděnou konstrukci.

V současnosti se nejčastěji používají jako injektážní prostředky především organické pryskyřice, epoxidové pryskyřice, polyuretany atd., jejichž aplikace, vlastnosti a způsoby provádění budou rozebrány v dalších kapitolách.

U pasivních trhlin se využívá ještě jeden způsob sanace a to pomocí zatmelení. Nevýhoda tohoto způsobu sanace je použití výhradně u pasivních trhlin. Princip provádění spočívá v oklepání omítky ve zdivu, kde se následně trhlina rozšíří na drážku o minimální šířce 5 mm, vyčistí, navlhčí, opatří tmelem, který může být opět ve formě pryskyřice nebo plastbetonu apod.

Je třeba si připomenout, že zesilování zděných pilířů a zdí je úkon, bez kterého se neobejde provádění úprav starších zděných konstrukcí a objektů. Z důvodů nízké kvality zdiva, jeho poruch apod., musí vždy odborný pracovník (v těchto případech statik) zvýšit únosnost nejenom svislých konstrukcí, ale také vodorovných konstrukcí. Zesilování zděných konstrukcí, jako proces, v sobě zahrnuje stavební úpravy, které jsou velmi pracné a zároveň choulostivé na kvalitu provedení.

Prvním z pracnějších způsobů je obetonování zděného pilíře. Tento způsob patří k často navrhovaným, především u zesilování nosných svislých konstrukcí. Princip spočívá v očištění povrchu zděného pilíře, proškrábnutí spár, umístění výztuže (buď ve formě sítí, nebo podélné výztuže s třmínky). Důležité je věnovat pozornost kvalitě betonu, s kterou souvisí zvýšená pozornost při zpracování směsi. Neměli bychom zapomínat, že při tomto způsobu zesílení se nám zvětší půdorysné rozměry.

Dalším ze způsobů zesílení je obložení ocelovou objímkou. Takovýto způsob se doporučuje použít u pilířů menších půdorysných rozměrů (do délky strany 1 m). Pracovní postup spočívá



v důkladném odstranění omítky, očištění a proinjektování trhlin společně se srovnáním povrchu. Na rozích osadíme rovnostranné úhelníky, které spojíme přivařením pásků z oceli. Spolupůsobení pásků zajistíme předepnutím pomoci ohřevu na teplotu cca 60 – 80 °C a následně je přivaříme k rohovým úhelníkům. Během ochlazení se bandáž smrští a tím zároveň i aktivuje. Pilíř poté opatříme pletivem, které omítneme nebo torketujeme kvalitní cementovou omítkou.

Obr. 5. Ocelová bandáž [12]

K zesílení zděné konstrukce můžeme také využít způsob zesílení pomocí předpjatých ocelových lan. V České republice se tento způsob ve velké míře využívá od 50. let minulého století.

Oproti předchozím způsobům, je tento pracnější, dražší a taktéž citlivý na kvalitu provedení, neboť při nesprávném předepnutí může dojít k destrukci nebo výraznému poškození konstrukce a jejímu následnému znehodnocení.

Způsob zhotovení je podobný jako u ocelových táhel. Nejprve se osadí kotevní desky, popř. rohové úhelníky a následně předpínací lana. Tyto lana jsou umístěna do vysekaných drážek ve zdivu. Následně se provede ve dvou popř. i více fázích jejich předpětí na hodnoty uvedené v projektu. Společně s objektem spolupůsobí a jejich účinnost je po celou dobu životnosti stavby. Jejich umístění v rámci stavby částečně nahrazuje železobetonový věnec, popř. chybějící ocelovou výztuž. Zajišťuje také bezpečné podchycení zdi při poruše základů, apod.

Celý proces samotného je ale samozřejmě v praxi složitější. Předpínání objektu se provádí ve 2 fázích. Nejprve dochází k vytvoření tzv. montážního předpětí, kdy po důkladné kontrole kotevních desek, úhelníků a předpínacích lan se provede napnutí lan na hodnotu 10 kN popř. lana, která jsou delší i hodnotu 20 kN. Těmto hodnotám říkáme „montážní předpětí“. Následuje vlastní předpínání, které se řídí projektovou dokumentací, jež byla vypracována na konkrétní případ poškozeného objektu.

Po těchto krocích dochází ke kontrole vlastního protažení každého lana společně s kontrolou předepnutého objektu. Zde je důležité věnovat pozornost samotným lanům. Lana, která přecházejí v místě kotev z důvodu předpínání asi o 1,25 m, se odřežou na délku 20 mm a provede se zainjektování kotev pomocí cementového mléka. Tento proces musí být zaznamenán do stavebního deníku a řádně převzat investorem. Poté se kotvy překryjí kruhovými kryty a v poslední fázi se provede základní nátěr. Nesmíme zapomenout na lana,



Obr 6. Prostorové ztužení objektu [13]

kteřá jsou umístěna do vysekaných drážek. Ty musíme zakrýt např.: omítkou, ale až po vnesení předpětí. Na závěr celého procesu odborný pracovník provede vyhodnocení pomocí vyhodnocovacího protokolu, kde se uvede popis napínacího zařízení, popis montáže napínání, popis napínání jednotlivých

lan, hodnoty napínacích sil apod.

Je nutné věnovat zvýšenou pozornost objektům, na kterých už jsou instalovaná předpínací lana. K jejich uvolnění může dojít až po převzetí předpětí novými lany.

Jinak by mohlo dojít ke vzniku nových, závažnějších statických poruch. Vlastníci daného objektu musí být o všem předem informováni, především o zákazu jakéhokoli zásahu do statického systému budovy.

V případě, že zdivo, nosné stěny nebo zděné pilíře jsou ve velkém rozsahu poškozené, málo únosné je třeba je nahradit novými konstrukcemi. Při výměně narušeného a neúnosného



Obr. 7. Příklad narušeného zdiva [14]

zdiva je postup při realizaci následující. Nejprve je nutné staticky zajistit a podepřít stropní konstrukci, provést opěry stěn a rozepření otvorů. Všechny tyto činnosti musí být důkladně provedeny, neboť sebemenší chyba by se mohla nevhodně projevit při další fázi realizace. Systém a množství statických podpěr se určí na základě podrobného statického výpočtu. Výměna jednotlivých částí zdiva

se provádí postupně po úsecích 0,9 m – 1,5 m. Postupná realizace je velice důležitá, aby nedošlo k porušení konstrukce. Začínáme vždy od nejzatíženější stěny, od rohu budovy apod. Velikost jednotlivých úseků závisí na stavu zdiva, celkovém uspořádání konstrukce budovy, atd. Při výměně zdiva používáme kvalitní pálené cihly a cementovou maltu. Během realizace musí pracovníci dbát na řádné klínování zdiva, kvalitu jeho provedení, abychom následně co nejvíce omezili vznik nových poruch v konstrukci. Ložná spára spojující nové a staré zdivo se musí řádně uklínovat ocelovými klíny a vyplnit injektováním cementovou, popř. polymercementovou maltou.

Existuje řada způsobů na samotné zesilování a sanace zděných konstrukcí. Výše uvedené jsou z hlediska četnosti výskytu nejvíce používané.

Pro přehled a zároveň srovnání je dobré si jednotlivé technologie a způsoby vzájemně porovnat, což dokládá následující tabulka.

Způsob rekonstrukce (sanace)	Výhody	Nevýhody	Zhodnocení finančního, bezpečnostního hlediska, náročnosti provádění
Sanace aktivních trhlin	- získání času pro rozhodnutí o způsobu trvalé sanace	- časová a finanční náročnost při sanaci	- používá se jako provizorní řešení, které nám prodlužuje čas na rozhodnutí o výběru správné technologie, způsobu trvalé sanace, zajištění bezpečnosti objektu, apod. - sanace aktivních trhlin je finančně náročnější a vyžaduje pečlivý přístup při řešení
Sanace pasivních trhlin	- většinou trvalé vyřešení problému pasivní trhliny	- důslednost při injektování a tmelení	- většinou se provádí zatmelením nebo injektováním, přičemž zatmelení je oproti injektování rychlejší, časově a finančně méně náročné - přesto vyžaduje sanace pasivních trhlin odborný přístup, který nám může zoptimalizovat finanční náklady v závislosti na způsobu provedení
Obetonování zděného pilíře	- významné zesílení pilíře; kvalita provedení	- zvětšení půdorysných rozměrů; nutný statický výpočet	- obetonování zděného pilíře je často navrhovaný způsob zesílení pilíře - časově pracnější – nutné kvalitní zpracování směsi - finančně náročnější v závislosti na rozměrech pilíře, množství použité výztuže a betonu
Ocelová objímka	- zachování půdorysných rozměrů	- nutný statický výpočet; důslednost práce při samotném provádění	- používá se u pilířů menších rozměrů - vzhledem k množství použité oceli, technologii realizace (injektování, nahřívání pásků atd.) finančně náročnější
Předpjatá ocelová lana	- rovnoměrné předpětí v rámci celého objektu	- vypracovat projektovou dokumentaci stažení objektu;	- vzhledem k použité technologii nutnost realizace odbornými pracovníky - finančně i projekčně velmi náročné (většinou zásah do historických objektů, významný zásah do statického systému budovy)
Výměna části zdiva	- nahrazení novými prvky	- náročnost realizace	- časově, bezpečnostně i finančně náročné (provizorní stat. zajištění zdiva, kvalita provedení, odbornost pracovníků)

Tabulka č. 1 – Porovnání metod zesilování a sanací zděných konstrukcí

Jak je z výše uvedené tabulky patrné, volba správné technologie při rekonstrukci a sanaci zděných konstrukcí má zásadní vliv na její budoucí využití a trvanlivost. Již od prvních náznaků poruch zděných konstrukcí, ať už se jedná o trhliny, vlhkost zdiva, nekvalitně provedené vazby zdiva apod., je třeba tomuto problému věnovat dostatečnou pozornost. Včasné podchycení nám pomůže nejenom ušetřit finance, které mohou v rámci takovéto sanace dosáhnout vysokých částek, ale také čas společně s dalším důležitým faktorem a to bezpečnosti celého objektu. Pokud podceníme jakékoli náznaky poruchy zděné



Obr. 8. Porušení zdiva smykem [15]

konstrukce, v nejhorším případě může dojít až k samotné destrukci a následnému stržení objektu. Celá problematika technologie pro rekonstrukce a zesilování zděných konstrukcí je velice obsáhlá, vyžaduje pečlivý a odborný přístup. Na předešlých

stránkách jsme si uvedli její základní rozdělení, postup diagnostiky a zhodnocení před samotným prováděním a v neposlední řadě jsme si také uvedli hlavní druhy sanací a rekonstrukcí.

V dalších kapitolách se budeme věnovat moderní technologii sanace zděných konstrukcí. Především půjde o kompozitní materiály pro zesilování a vyztužování konstrukcí a představení technologie sanace konstrukcí pomocí speciálních pryskyřic.

3. Kompozitní materiály pro zesilování a vyztužování konstrukcí

3.1. Kompozitní materiály jako součást moderního stavitelství

Kompozitní materiály pro dodatečné zesilování a vyztužování stavebních konstrukcí se používá jako technologie od 80. let 20. století. Z toho usuzujeme, že jako technologie je poměrně mladá a v současnosti je v neustálém vývoji. Pokud se podíváme do historie, zjistíme, že myšlenka kompozitních materiálů jako taková se objevuje již ve starém Egyptě, kdy staří Egypťané používali kompozitní cihly. Skládaly se ze směsi jílů a slámy. K velkému rozmachu a následnému průmyslovému využití došlo od r. 1940. V dnešní době se s využitím kompozitních materiálů setkáváme v leteckém průmyslu, automobilovém, chemickém, ale nás bude nejvíce zajímat jeho využití v průmyslu stavebním.

Problematiku kompozitních materiálů a jejich užití ve stavebnictví si můžeme rozdělit nejenom dle materiálů, ze kterých jsou vyrobeny, ale také i dle jednotlivých prvků (externě lepená syntetická výztuž, tyče, popř. pryskyřice, které se používají především na injektáže). Dle materiálů můžeme obecně rozdělit kompozitní materiály pro stavebnictví na uhlíkové, skelné a aramidové. Z hlediska využitelnosti, parametrů jednotlivých materiálů jsou pro účely stavebnictví nejlépe využitelná uhlíková vlákna. Je to dáno především jejich vlastnostmi, jakými jsou modul pružnosti v tahu, jejich hmotnosti apod.

Mezi hlavní výhody kompozitních materiálů patří jejich, jak už bylo uvedeno, hmotnost a s tím související lehká manipulace, vysoká pevnost v porovnání s vlastní hmotností, odolnost vůči korozi, odolnost proti poškození, atd.

Nesmíme ovšem opomenout nevýhody, mezi které řadíme finanční náročnost, nízkou odolnost vůči UV záření, u skleněných vláken nízký modul pružnosti.

Rozsah použití kompozitních materiálů při zesilování a vyztužování konstrukcí ve stavebnictví je poměrně veliký, pro ukázkou si můžeme uvést několik oblastí, kde výše uvedené materiály nacházejí uplatnění, např.:

- zesilování zděných, betonových konstrukcí proti účinkům větrů, sněhu, seismiky...
- oprava konstrukčních nedostatků a poruch
- zesílení konstrukce z důvodu změny zatížení, které na ni působí
- obalování sloupů pro zvýšení stability a průtažnosti

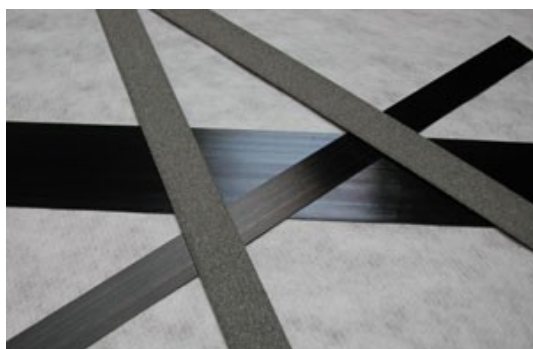
3.2. Rozdělení kompozitních materiálů

Jak již bylo uvedeno, pro stavební účely se z kompozitních materiálů často používají uhlíková vlákna, především pro jejich vlastnosti dané modulem pružnosti v tahu (pohybuje se kolem 165 GPa – 200 GPa), hmotnosti, apod.

Pro zesilování konstrukcí se používají uhlíkové tkaniny, uhlíkové lamely a uhlíkové tyče. Mezi další kompozitní materiály patří sklolaminátové tyče, skleněné tkaniny, a také aramidové tyče a tkaniny.

3.2.1. Uhlíkové lamely

Uhlíkové lamely jako takové jsou vyráběny z uhlíkových vláken technologií vzájemného spojování pomocí vinylesterové pryskyřice. Díky tomuto spojení vznikne kompozitní materiál



Obr. 9. Uhlíkové lamely [16]

s velmi dobrými pevnostními charakteristikami. Šířka uhlíkové lamely se nejčastěji pohybuje kolem 50 mm a její tloušťka se pohybuje v rozmezí 1,2 – 1,4 mm. Podle požadavků projektanta, popř. investora se může šířka pohybovat až do 150 mm, odstupňovaná po 10 – 20 mm. Mezi hlavní přednosti lamel patří

jejich hmotnost. V praxi se to především projeví usnadněnou manipulací, dopravou apod. Nespornou výhodou užití uhlíkových lamel místo ocelových příložek je omezení počtu stojek, což při samotné realizaci znamená, že pokud užíváme ocelové příložky, musíme je vždy podstojkovat. Oproti tomu při užití uhlíkových lamel není potřeba je podstojkovat. Pouze se podstojkuje samotná konstrukce, aby došlo k jejímu odlehčení, což znamená jak časovou tak i finanční úsporu. Obecně se dá říct, že uhlíkové lamely jsou odpovědí na ocelové příložky, jelikož uhlíkové lamely při menší tloušťce a hmotnosti mají daleko větší únosnost.

Výhody uhlíkových lamel:

- malá hmotnost vzhledem k jejich únosnosti
- snadná manipulace, doprava
- časová úspora při realizaci v porovnání s ocelovými příložkami

Nevýhody uhlíkových lamel:

- křehké (opatrná manipulace)
- cena (1 m uhlíkové lamely je 6 x dražší než 1 m ocelové příložky)
- nedostatečná průtažnost, odolnost proti UV záření

Z výše uvedeného srovnání se může na první pohled zdát, že užití uhlíkových lamel při zesilování a vyztužování konstrukcí je finančně velice náročné. Na druhou stranu je ale potřeba si uvědomit, že počáteční vysoká investice se vrátí v nákladech na pracovníky a ostatní materiál jakými jsou například stojky pro podepření zesilované konstrukce, protože pracovníci provedou zesílení konstrukce dle daného technologického postupu za mnohem kratší dobu, než u ocelových příložek. V současnosti, kdy je cena lidské práce poměrně vysoká, je to nemalá finanční úspora, i přesto, že počáteční náklady do materiálu jsou vysoké.

Uhlíkové lamely mohou být dvojího typu a to jako lamely z jedné strany popískované nebo z obou stran hladké. U prvně zmiňovaného způsobu můžeme vidět jednotlivá uhlíková vlákna, ze kterých je lamela složena. Samotná aplikace uhlíkových lamel při zesilování konstrukcí je proces, který se skládá ze dvou částí. Nejprve je nutné si připravit podklad. V rámci tohoto procesu se odstraňují nesoudržné vrstvy vysokotlakými metodami např.: otrýskání vodou, pískem, popř. obrušováním apod. Podklad by měl dále být čistý, suchý, odmaštěný a zbavený veškerých nečistot. Při samotné realizaci chceme zachovat konstrukci co nejvíce celistvou, proto se nedoporučuje používat při přípravě podkladu bouracích kladiv a dalších těžkých mechanizačních prostředků.

Vlastní aplikace výztužných lamel se provádí většinou pouze pomocí speciálního



Obr. 10. Přitlačení uhlíkové tkaniny válečkem [17]

epoxidového lepidla. Epoxidové lepidlo používané při aplikaci lamel by mělo mít tahovou přídržnou 3 MPa, jelikož tahová přídržnou podkladu by se měla pohybovat v hodnotách minimálně 1,5 MPa. Pokud se tahová přídržnost pohybuje pod 1,5 MPa vyskytne se problém, kdy se v konstrukci vytvoří z dlouhodobého hlediska tah, což může vést až k odtržení materiálu.

Toto je především problém zděných konstrukcí, proto se vyztužování zděných konstrukcí provádí do drážek pomocí nelokální výztuže.

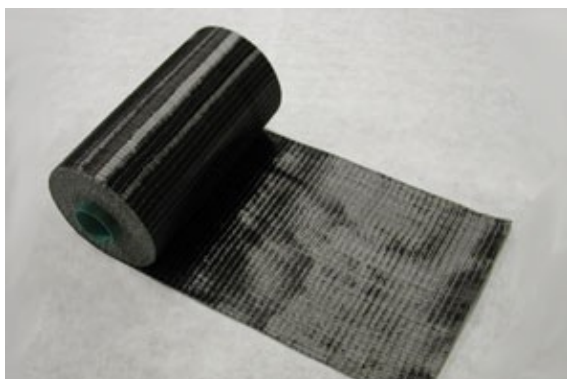
Před nanesením lepidla se musí povrch dobře napenetrovat, poté se provede nanesení lepidla na uhlíkovou lamelu a nakonec se přitlačí válečkem, který pomáhá vytlačovat vzduchové bubliny z lepidla. Můžeme také použít špachtli, apod.

Každá aplikace stejně jako každá zesilovaná konstrukce potřebuje individuální přístup. Je potřeba s ohledem na specifika konstrukce vytvářet podrobné technologické postupy, které s odborně vyškolenými pracovníky zajišťují pečlivý přístup ke konstrukci. Nedílnou součástí realizace jsou také statické posudky.

Použití uhlíkových lamel se v praxi mnohokrát osvědčilo, především díky rychlosti aplikace, což se ve výsledku pozitivně projevilo při samotném řešení problému konstrukce. Další nespornou výhodou užití lamel je zvýšení únosnosti dané konstrukce při minimálním nárůstu vlastních rozměrů. Uplatnění nacházejí zejména při zesílení stropních průvlaků, desek, trámů. Lze je aplikovat prostým nalepením lepidla, jak bylo uvedeno výše nebo také vlepením do drážek, které byly vyfrézovány do konstrukce. Zde se ale více uplatní použití tyčových profilů.

3.2.2. Uhlíkové tkaniny

Dalším způsobem, který se využívá při zvyšování únosnosti konstrukcí, je užití uhlíkových výztužných tkanin. Tkaniny oproti lamelám se dodávají v rolích jako jednosměrné



Obr. 11. Uhlíková výztužná tkanina [18]

nebo obousměrné. Jejich množství a počet rolí závisí především na požadavcích investora, který sanaci popř. rekonstrukci financuje. Výztužné tkaniny se využívají pro zabezpečení proti smykovým a smršťovacím trhlinám. Proti smršťovacím trhlinám se využívají obousměrné výztužné tkaniny. Díky svým vlastnostem se používají při bandážování

sloupů, nosníků, popř. při lokálních zesilováních kleneb, stropních desek. V praxi se osvědčilo bandážování sloupů, neboť je to rychlý a velice efektivní způsob jak zvýšit jeho únosnost a odolnost proti nárazu.

Samotná aplikace výztužných tkanin na konstrukci je trochu složitější než předešlý způsob aplikace uhlíkových lamel.

Před samotnou aplikací je nutné konstrukci ošetřit a to zejména jejím srovnáním. Tkaniny se mohou nanášet na konstrukci, kde je kritérium rovinatosti 1 mm na 2 m. Poté se provede důkladná penetrace podkladu, nanese se laminační pryskyřice, na kterou se přiloží samotná tkanina.

V takovém to stavu necháme tkaninu 20 min, což je dostatečný čas, kdy pryskyřice prosákne tkaninou. Nakonec se přetře válečkem. Takovýto způsob aplikace se nazývá „suchá metoda“, uhlíková tkanina je 1-vrstvá.

„Mokrý metoda“ se oproti „suché metodě“ liší především způsobem aplikace, kdy se tkanina nejprve namočí do pryskyřice a poté se nanáší na samotný podklad. Nevýhodou této metody je, že musíme tkaninu přenášet mokrou, což přináší větší znečištění okolí aplikace, tkanina nesmí spadnout na zem, jelikož potom už je nepoužitelná (nalepí se nečistoty, apod.).

Aplikovaná pryskyřice může mít různou barevnost, záleží na výrobci pryskyřic a jeho dodavatelích. Je velmi důležité dbát na to, aby se výztužná tkanina nepřekrývala omítkou, protože může dojít k jejímu porušení v důsledku provádění drážek, např. v konstrukci se v budoucnu bude provádět nový rozvod elektřiny, a následně ke ztrátám vlastností, kvůli kterým jsme ji aplikovali.

Nejméně problematické je překrytí barvou, popř. schování za závěsnou sádkartonovou konstrukci.

Velká výhoda tkanin, je v jejich únosnosti, 5 cm šířka lamely a tloušťka 1,2 mm má únosnost až 18 tun. Při samotném návrhu zesílení, se nenavrhuje zesílení konstrukce o víc jak 50% z důvodu bezpečnosti, protože tkaninu nepoužíváme jako hlavní výztuž, ale pouze jako dodatečnou. Tkaniny, lamely stejně tak i tyče můžou být nanесeny v max. 6 vrstvách.



Obr. 12. Zesílení k-ce klenby pomoci uhlíkové tkaniny [19]

3.2.3. Uhlíkové tyče, další materiály

Na předchozích stránkách jsme si popsali problém uhlíkových vláken, uhlíkových výztužných tkanin. Posledním způsobem, který se využívá k zesilování konstrukcí,



Obr. 13. Uhlíkové tyče [20]

je vlepování tyčových profilů do drážek vyfrézovaných v konstrukci. S touto metodou se můžeme v poslední době setkat velice často. Je vhodná především k zesilování zděných konstrukcí, kdy umožňuje zesílení konstrukce, aniž by budoucí uživatel viděl na povrchu zdiva jakoukoli změnu. Je to dáno především

aplikovanou výztuží, která se skryje ve zdivu a následně schová pod omítku. Samotná aplikace tyčových profilů se provádí buď do drážek vysekaných ve zdivu, jak již bylo řečeno výše, nebo do ložných spár zdiva, které se následně zalijí polymercementovou maltou. Kromě ložných spár nebo do drážek vysekaných vodorovně ve zdivu lze výztužné tyče aplikovat také diagonálně (do kříže). Praktické využití nacházejí ve zdivu, u kterého chceme zvýšit odolnost proti vodorovným silám, jakými jsou např. zatížení větrem, seizmická aktivita v oblasti, kde konstrukce stojí, apod. Podobně jako uhlíkové lamely lze i uhlíkové tyče částečně předpínat a tím dosáhnout lepších pevnostních parametrů kompozitních materiálů.

Uhlíkové tyče stejně jako lamely mají své nevýhody. Tyče nelze ohýbat, proto zaleží hodně na projektantovi, jak rekonstrukci navrhne. Všechny činnosti spojené s ohýbáním tyčí se musí provádět přímo ve výrobě. S posledně jmenovaným faktorem souvisí následně cena, která se odvíjí podle toho, jaká firma samotné zesilování provádí. Cenový rozdíl se může lišit i v řádu tisícikorun.

Další nevýhodou spojenou s využitím uhlíkových tyčí je jejich nedostatečná vyvinutost pro zděné konstrukce. Samozřejmě, že tento faktor se zlepšuje s postupem času, kdy odborníci přichází na stále nové způsoby aplikací.

Je dobré si ale také připomenout jednu menší výhodu, především pokud se jedná o historické objekty. Zde máme pádné argumenty pro použití, jelikož je všeobecně známo, že památkáři nemají rádi kov při rekonstrukcích a v uhlíkových tyčích není ani gram kovu, čili jsou velmi vhodné k užití při rekonstrukcích historických objektů.

Jako materiály pro dodatečné vyztužování konstrukcí můžeme kromě uhlíkových vláken



Obr. 14. Skleněné tyče a lamely [21]

tyčí, kolem 100 GPa. Modul pružnosti např. uhlíkových vláken se pohybuje v hodnotách 2500 – 4500 GPa. Na základě tohoto srovnání zjišťujeme, že kromě uhlíkových vláken jsou druhou nejlepší volbou aramidová vlákna, která velmi dobře odolávají alkalickým soli a z počátku



Obr. 15. Aramidové tyče a lamely [22]

Tam, kde dochází k trvalému namáhání např. ohybem nebo smykem by se materiály na bázi skleněných vláken neměly používat. V takovýchto případech jsou materiály na bázi uhlíkových vláken daleko lepší nejen v interiéru, ale i v exteriéru, kde jsou trvanlivější.

použít také skleněná nebo aramidová vlákna. Poslední dva jmenované materiály se nepoužívají tak často jako uhlíková vlákna. Rozdíly mezi jednotlivými materiály jsou především v modulu pružnosti, který se pohybuje u uhlíkových tyčí, tkanin kolem 600 GPa, u skleněných tyčí v hodnotách kolem 60 GPa a u aramidových tyčí, kolem 100 GPa. Modul pružnosti např. uhlíkových vláken se pohybuje v hodnotách 2500 – 4500 GPa. Na základě tohoto srovnání zjišťujeme, že kromě uhlíkových vláken jsou druhou nejlepší volbou aramidová vlákna, která velmi dobře odolávají alkalickým soli a z počátku se hojně používaly na objektech situovaných kolem moří. Z hlediska výběru správných kompozitních materiálů je nutné dbát na několik faktorů. Skleněná vlákna poskytují výborné parametry při zvyšování pevností u prvků, které jsou namáhané např. seismickým zatížením, popř. zatížením vyskytujícím se pouze krátkodobě.

4. Sanace pomoci speciálních pryskyřic

Jak již bylo uvedeno výše, konstrukce může postupem času určitým způsobem degradovat. Viditelnými projevy statických poruch ať už betonových nebo zděných konstrukcí jsou trhliny. Ty jsme si v kapitole 2.2.1. rozdělily a v kapitole 2.4 také vysvětlili různé způsoby sanace trhlin. Pro připomenutí nejčastějším způsobem sanace zděné konstrukce



Obr. 16. Injektáž zdiva [23]

poškozené trhlínami je injektáž, kterou lze obecně charakterizovat jako aplikaci chemického prostředku do zděné konstrukce, především do jejich pórů, dutin atd. Po aplikaci vhodného chemického prostředku nám vznikne celek, který má lepší požadované vlastnosti, vyšší únosnost, atd.

Pro samotnou injektáž je velice důležitý návrh injekčního materiálu, který se nám liší dle druhu konstrukce. Samotná volba injekčního materiálu je ovlivněna injekčním prostředím, cílem injektáže, způsobem aplikace injekčního materiálu, velikosti zrna materiálu, jeho viskozitou, rychlosti reakce. Volba materiálu je velice důležitým krokem při návrhu injektáže. Materiály jakými jsou běžný cement (velikost zrna 0,1 mm), mikrocement (velikost zrna 0,01 mm), bentonit (0,003 mm),



Obr. 17. Příprava injektáže [24]

kteřý je vyráběn průmyslově, jsou vhodné především pro výplňové injektáže. Naopak oproti tomu polyuretanové pryskyřice s velikostí zrna 0,00002 mm nebo metakrylátové gely s velikostí zrna 0,00001 mm se používají na opravy poruch hydroizolací, utěsnění spár apod...

Principem použití speciálních pryskyřic pro injektáže je jejich schopnost dokonale přilnout k podkladu společně s jejich vysokou pevností. Speciální pryskyřice jsou zvlášť navrženy pro injektáže stavebních konstrukcí, aby důkladně utěsnily, zpevnily a přilnuly k podkladu. Samotná aplikace se provádí pomocí vysokotlakých čerpadel nebo existuje tzv. „gravitační injektáž“, která znamená, že materiál vylijeme přímo do trhliny. Takovýto způsob se dá aplikovat pouze pomocí nízkoviskózních pryskyřic v případě vodorovných ploch.

Vysokotlaká čerpadla, pomoci kterých se injektáže provádějí, dělíme na jednosložková injekční čerpadla a dvousložková injekční čerpadla. U prvně jmenovaných si směs připravujeme a tím můžeme ovlivnit dobu reakce. Směsi, které se používají v jednosložkových čerpadlech, mají dlouhou dobu reakce. Nevýhoda užívání těchto typu čerpadel spočívá v pravidelném a důkladném čištění čerpadla a jeho příslušenství. Oproti tomu dvousložková injekční čerpadla mají dva oddělené zásobníky, ze kterých se čerpají dané složky a míchají se ve statickém směšovači. Velkou výhodou užití těchto čerpadel je jejich nenáročnost na čištění.

Po každé injektáži odborně vyškolený pracovník vyhotoví protokol o injektáži, který je její nedílnou součástí.

Vlhkost na zděných konstrukcích, průsaky vody zděnou konstrukcí, představují pro nás velký problém, který je nutné neodkladně, stejně jako trhliny řešit. U vlhkých zděných konstrukcí musí být přesně identifikováno místo poruchy popř. vady, které jsou většinou způsobeny nesprávným fungováním hydroizolace. Injektáž, jako opravu hydroizolace, posléze provádíme cíleně v daném místě. Používáme materiály, jakými jsou metakrylátové gely, polyuretanové pryskyřice.

V případě použití metakrylátových gelů pro utěšňování struktury injektovaného prostředí, schopnosti zastavovat přítoky vody, je jejich účinnost v porovnání s cementovými směsmi mnohonásobně lepší. Jejich hlavní výhodou je možnost nastavení reakční doby podle potřeby. Po reakci zůstane gel trvale pružný a při kontaktu s vodou zvětšuje svůj objem bobtnáním. Mezi nevýhody řadíme aplikaci pouze pomoci speciálních dvousložkových nerezových čerpadel. Pomoci metakrylátových gelů můžeme využít tzv. „rubovou injektáž“. Rozumíme tím injektáž, kde zevnitř budovy na jejím rubu při styku terén – zemina, provádíme injektáž. Mezi nevýhody této metody patří především to, že nevidíme, kam injektovaný materiál jde a nemůžeme si být tedy jisti, že jsme vyplnili celou plochu, tak jak jsme chtěli. Tato metoda je poměrně drahá. Zpevnění se ověřuje pomoci jádrového vývrtu.

Díky vyplnění konstrukce pomoci speciálních pryskyřic, mezi které řadíme epoxidové pryskyřice, polyuretanové pryskyřice, metakrylátové gely, se zlepší nejen fyzikální vlastnosti, ale také se prodlouží životnost a uživatelský komfort, pokud se jedná např. o zděný bytový dům apod.

4.1. Epoxidové pryskyřice

Epoxidové pryskyřice jsou rychle reagující dvousložkové pryskyřice, které se používají pro zpevňování a utěsňování nejen cihelného zdiva a smíšeného zdiva, ale také pro zpevnění a utěsnění betonu a pro mnoho dalších použití. Své uplatnění nacházejí například pro spojení statických trhlin. Je to dáno především jejich vlastnostmi pevnosti v tahu a tlaku. Nemohou se používat v mokřém prostředí nebo tam, kde se objevuje tekoucí voda, což lze označit jako



Obr. 18. Aplikace pryskyřice čerpadlem [25]

hlavní nevýhodou. Než dojde k aplikaci injektáže je velice důležitý stavebně technický průzkum. V rámci stavebně technického průzkumu je nutné určit místa defektů. Po určení těchto míst osadíme do předem připravených vývrtů pakry, na které připojíme čerpadlo, a následně dochází k samotné injektáži. V případě epoxidových pryskyřic



Obr. 19. Připojení čerpadla na pakry [26]

se používají jednosložková čerpadla, jejichž vlastnosti jsme si uvedli výše. Jelikož je to jednosložkové čerpadlo je nutné si směs připravit předem smícháním jednotlivých složek. Ne vždycky se povede injektáž napoprvé, proto se někdy provádí ještě tzv. „reinjektáž“. Po injektáži se pakry odstraní a vývrty se zapraví maltou. Pracovníci provádějící danou činnost musí být odborně proškoleni, jelikož epoxidová pryskyřice je zdraví škodlivá při vdechování, dráždí nejen očí, ale i dýchací orgány a kůži. Během práce s pryskyřicí musí používat ochranný oděv, ochranné rukavice, brýle apod. Je důležité si pamatovat, že teorie na papíře

je mnohdy jiná než samotná praxe, která se liší případ od případu. Vždy se snažíme využívat pomoci odborných pracovníků, kteří mají mnohaleté zkušenosti a jsou schopni poradit nejlepší volbu sanace pomocí pryskyřic na danou konstrukci.

4.2. Polyuretanové pryskyřice

Polyuretanová pryskyřice je dvousložková nebo jednosložková pryskyřice, která se v praxi využívá častěji než epoxidová. Využíváme ji především k zpevňujícím injektážím pod základy staveb, k rubové injektáži stavebních konstrukcí, popř. také pro injektáž pracovních spár, kde se už používají speciální postupy. Polyuretanové pryskyřice mohou být dvojího typu a to jednosložková a dvousložková. Jedsnosložková



Obr. 20. Injektážní čerpadlo pro PUR pryskyřice [27]

nutné používat speciální čisticí a oleje, určené na samotnou údržbu. Je také potřeba zajistit dostatečné množství vody v prostředí, kde se injektáž provádí. V případě, že není, lze dodatečně nainjektovat požadované množství vody samostatně nebo současně s injekčním



Obr. 21. Konstrukce po aplikaci PUR pryskyřice [28]

Před užitím dvousložkové polyuretanové pryskyřice je důležité zkontrolovat správnou funkčnost čerpadla a dodržovat smíchání složek v poměru 1:1. Stejně jako u epoxidových pryskyřic je nutné i u polyuretanových dodržovat zásady bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, tzn., pracovníci během aplikace nosí ochranné brýle, rukavice, předepsaný oděv, apod..

polyuretanová pryskyřice potřebuje k správnému průběhu chemické reakce velké množství vody. Naopak dvousložková polyuretanová pryskyřice díky svému složení reaguje bez ohledu na množství vody v konstrukci. Samotná aplikace polyuretanových pryskyřic se provádí podobně jako u epoxidové, záleží však, zda jsou jednosložkové nebo dvousložkové především z důvodu výběru vhodného typu čerpadla. V případě užití jednosložkových je

materiálem. Před samotným započítím injektážních prací je nutné směs velmi dobře rozmíchat. Následně se provádí aplikace pomocí injekčního čerpadla do předem připraveného otvoru, který je osazen pakrem. Směs jednosložkové polyuretanové pryskyřice při kontaktu s vodou reaguje a následně tvrdne.

5. Srovnání metod pro rekonstrukce a zesilování zděných konstrukcí

Pokud chceme srovnávat jednotlivé metody pro rekonstrukce a zesilování zděných konstrukcí, je nutné si připomenout, že každá metoda, kterou používáme, se liší dle konkrétního případu. Obecně můžeme říci, že technologie, které se používaly v minulosti a v současné době používají, mají své nezastupitelné místo. Avšak i díky rozvoji výzkumu moderních technologií můžeme v dnešní době spatřit při realizacích rekonstrukcí, příp. zesilování mnoho nových technologií, které nám ušetří nejen čas, ale také finanční náklady, jak na materiál, tak i na pracovní síly.

Mezi tradiční technologie řadíme sanaci aktivních trhlin, sanaci pasivních trhlin, obetonování zděných pílířů, předpínání objektu pomocí ocelových lan, popř. výměny části zdiva, atd. Posledně jmenovaná technologie je ve spoustě případů až krajní řešení, kdy nelze využít ani jednu z výše zmiňovaných technologií, nebo je pouze jedinou variantou jak danou konstrukci zachránit a prodloužit její životnost. Podrobné srovnání jednotlivých metod je uvedeno v tabulce č. 1 v kapitole 2.4.

Vrátíme-li se k moderním technologiím, používání materiálů jakými jsou uhlíková, skleněná příp. aramidová vlákna s sebou přináší řadu výhod. Mezi hlavní výhody patří značná finanční úspora, porovnáme – li ji s časem, který pracovníci stráví realizací. Další z výhod je především nízká hmotnost zejména uhlíkových vláken, odolnost vůči korozi, apod. Většímu rozšíření těchto materiálů pro rekonstrukce a zesilování konstrukcí je především jejich počáteční finanční náročnost. Zde je ale nutné si uvědomit, že částka vynaložená za materiál se nám vrátí v podobě úspor času při provádění a nákladu na pracovníky.

Obecně lze říci, že o kompozitních materiálech a způsobech jejich užití je dobře informovaná pouze odborná veřejnost, pracovníci, kteří s materiály pracují apod., což samozřejmě také zatím brání jejich většímu využití ve stavebnictví. Při zaměření používání kompozitních materiálů v České republice zjišťujeme fakta, která byla zmiňovaná výše, tedy že české firmy, čeští investoři dávají přednost tradičním technologiím, s kterými mají mnoholeté zkušenosti a občas se bojí i díky tomu, že kompozitní materiály nejsou levná záležitost, použít je při rekonstrukcích.

Oblasti v České republice, kde se začínají tyto materiály ve větší míře pomalu prosazovat, jsou rekonstrukce historických objektů a památek, neboť tyto objekty vyžadují citlivý přístup, materiály, které se použijí, musí být šetrné k objektu i za cenu vyšších finančních nákladů.

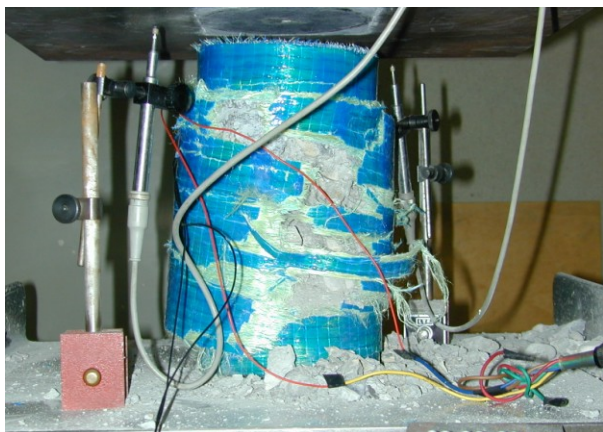
Prosazení kompozitních materiálů vyžaduje trpělivost projektanta, který řešení pro daný objekt navrhl, kdy případné obhájení daného technologického řešení s využitím kompozitních materiálů, bude mít přínos nejen pro samotný objekt, ale i pro další rozvoj moderních technologií v rámci České republiky.

6. Závěr

Problematika rekonstrukcí a zesilování zděných konstrukcí je poměrně rozsáhlá a vyžaduje značné zkušenosti v oboru. V současnosti jsou nejvíce využívány technologie, které jsou ověřeny mnohaletými zkušenostmi při rekonstrukcích zděných konstrukcí různých typů. Díky rozvoji moderních technologií se dostávají do popředí kompozitní materiály, jakými jsou uhlíková vlákna, skleněná vlákna popř. také aramidová vlákna. Jejich většímu využití v rámci rekonstrukcí a zesilování konstrukcí brání v současnosti jejich počáteční finanční náročnost, u které je nutné si ale uvědomit, že tato investice se vrátí v průběhu realizace v podobě času stráveném pracovníky při práci na daném typu konstrukce.

Jelikož i kompozitní materiály, stejně jako ostatní moderní technologie, se vyvíjejí, lze očekávat do budoucna jejich větší rozšíření ve stavebnictví, především v oblasti rekonstrukcí a zesilování konstrukcí.

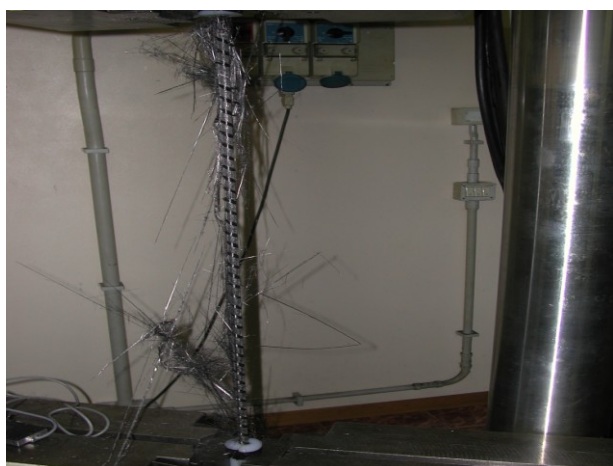
Příloha č. 1 - Ukázka ze zkoušení a aplikací kompozitních materiálů



Obr. 1. - Destrukční zkouška kompozitního materiálu
(Minova)



Obr. 2. - Měření napětí na tyči (detail uchycení)
(Minova)



Obr. 3. - Měření napětí na tyči (tyč těsně před přetržením)
(Minova)



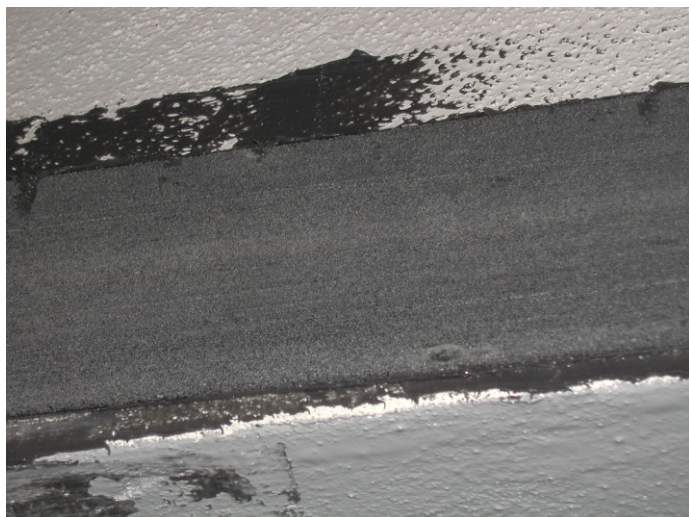
Obr. 4. - Terminální fáze zkoušky (dochází k roztržení vlákna)
(Minova)



Obr. 5. - Penetrace podkladu pod výztužnou tkaninu
(Minova)



Obr. 6. - Aplikace výztužné tkaniny
(Minova)



*Obr. 7. - Kompozitní materiál po aplikaci
(Minova)*

Příloha č. 2 - Ukázka z praktických realizací



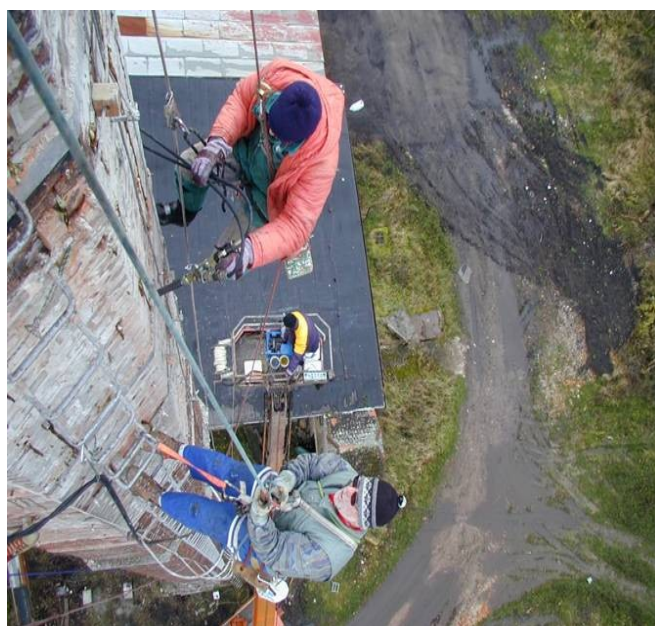
*Obr. 1. - Injektáž zděného komínu - fotografie z realizace
(Minova)*



*Obr. 2. - Injektáž zděného komínu - detail porušení komínu
(Minova)*



*Obr. 3. - Injektáž zděného komínu - detail injektáže
(Minova)*



*Obr. 4. - Injektáž zděného komínu - fotografie z realizace
(Minova)*

Příloha č. 3 - Ukázka výpočtu zesílení konstrukce použitím kompozitních materiálů (Minova Bohemia s.r.o.)

Zesílení dřevěných a železobetonových nosníků použitím lamel Carbopree / Glasspree

1. Úvod

Tento návrh je zpracován dle metodiky ACI 440 s je použitelný pouze při využití materiálů Carbopree a Glasspree.

2. Vstupní data

- 3 podlažní budova, dřevěné trámové stropy
- rozměr trámů: 150 x 180 mm, délka 5600 mm
- aktuální únosnost (pevnost v tahu za ohybu): 9 MPa
- aktuální moment působící na trám: 7,3 kN.m (určeno výpočtem)

Z důvodu zvýšení zatížení na stropní konstrukci (s tím, že se s vyšším podlažím zatížení snižuje) chce projektant představit 3 varianty zesílení s využitím kompozitních materiálů:

- 1) zvýšení únosnosti v ohybu o 33 %
- 2) zvýšení únosnosti v ohybu o 66 %
- 3) zvýšení únosnosti v ohybu o 90 %

Dále návrh zesílené pro ŽB konstrukce:

- ŽB trám, rozměry: 150 x 250 x 6500 mm
- beton: C16/20
- hlavní výztuž: 2 x R18
- aktuální moment: 27 kN.m

Zesílení trámů:

- 1) zesílení ohybové tuhosti o 25 %
- 2) zesílení ohybové tuhosti o 50 %
- 3) zesílení ohybové tuhosti o 75 %

3. Zesílení dřevěných prvků

Dřevo má podobně jako ocel dle Eurokódu stejnou návrhovou pevnost v tahu a tlaku, pevnost ve smyku je rovna 1,5 MPa.

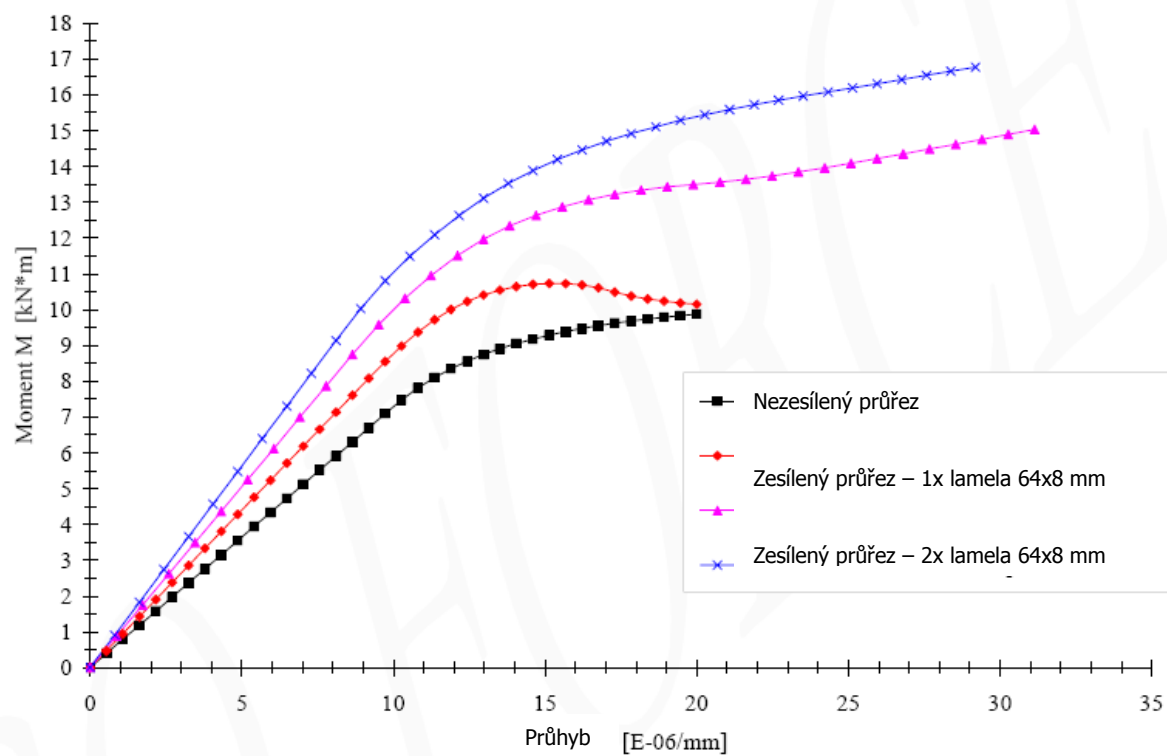
Obr. 1 znázorňuje průběhy momentů a průhybu prvku pro 4 různé průřezy:

- dřevěný trám
- dřevěný trám zesílený 1 x lamelou Glasspree 64x8 mm
- dřevěný trám zesílený 2 x lamelou Glasspree 64x8 mm
- dřevěný trám zesílený 3 x lamelou Glasspree 40x12 mm

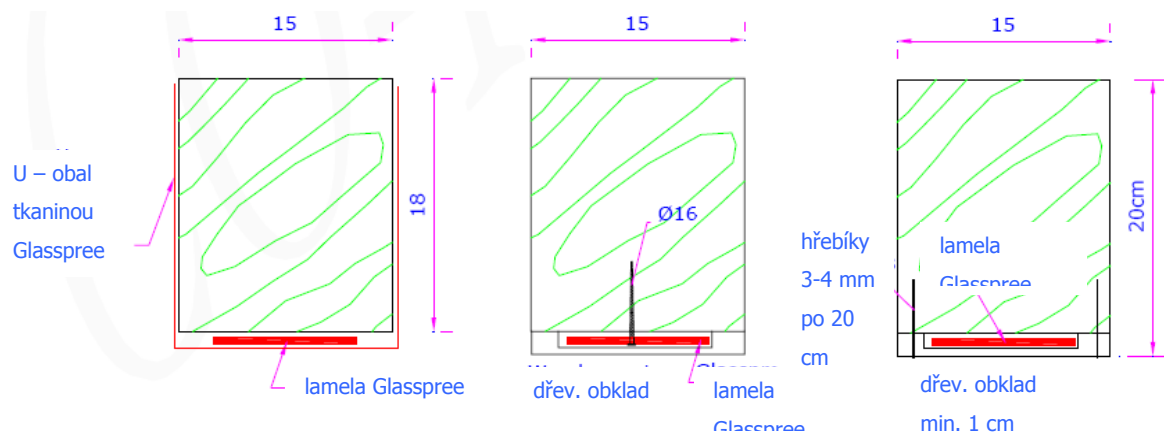
Maximální ohybový moment vzroste z 10 kN.m na 11, 14.5 a 17 kN.m dle způsobu zesílení. Na koncích prvku je nutno vždy provést fixaci pomocí U – obalení pro zamezení odlupování výztuže. U – obalení může být provedeno pomocí jedné vrstvy Glasspree tkaniny o šířce 25 cm.

Obr. 2 zobrazuje vyztužení dřevěného prvku na spodní straně. Pro zakrytí výztuže lze aplikovat dřevěný obklad s vyfrézovanou drážkou pro výztužný prvek. Pro zabránění odlupování může být použito dalších dvou technologií:

- předvrtání otvorů 18 mm na koncích výztužného prvku, fixace výztuže pomocí vrutu M16 (ocelový, nerez nebo hliníkový) – Obr. 2 b)
- pomocí hřebíků prům. 3-4 mm v 20 cm rozestupech – Obr. 2c)



Obr. 1 – Průběh momentu a průhybu



Obr. 2 – Zesílení průřezu

3. Zesílení železobetonových trámů

Podle ACI 440 je maximální návrhová pevnost v tahu pro FRP materiály rovna:

$$f_{fu} = C_E \cdot k_m \cdot J_f \cdot f_{fu}^*, \text{ kde}$$

- C_E je rovno 0.75 pro kompozity ze skleněných vláken (GFRP);
- J_f je rovno 0.95;
- k_m je ohybový faktor. Pro GFRP lamely tlusté 5, 10 a 20 mm je f_{fu} rovno: 282, 141 a 71 MPa (dle tloušťky).

Dalším důležitým parametrem je omezení napětí v lamele při provozním zatížení:

- pro GFRP materiály $< 0.2 f_{fk}$
- pro CFRP materiály (uhlíkové) $< 0.55 f_{fk}$

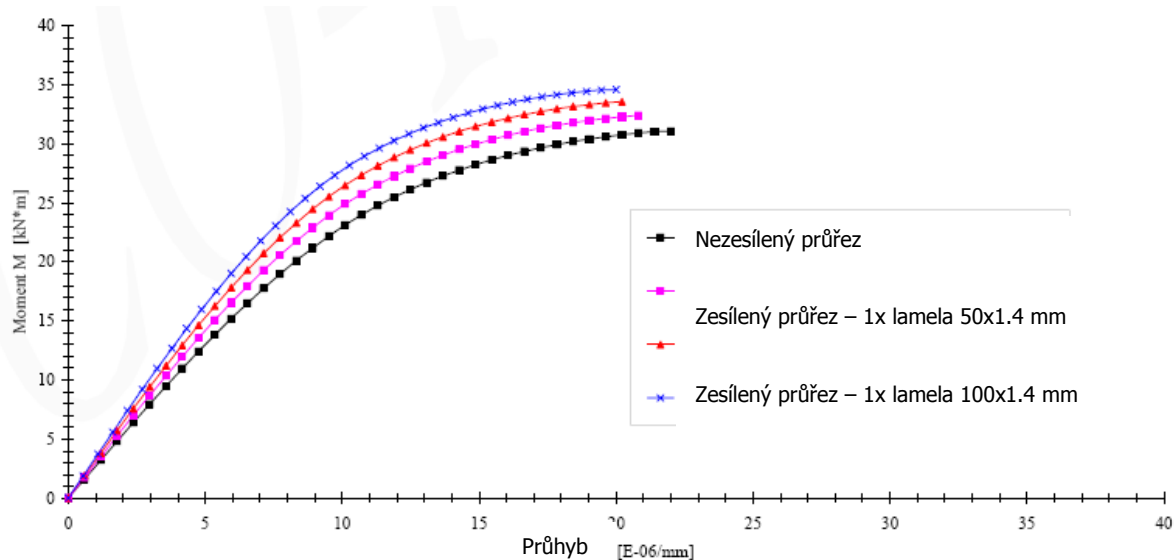
Z uvedené rovnice a součinitelů vyplývá, že materiály na bázi skleněných vláken nejsou pro rekonstrukce betonových konstrukcí porovnatelné s uhlíkovými materiály, jinými slovy řečeno – povolené napětí je velmi nízké v porovnání s uhlíkovými materiály.

Uvažujeme-li o zesílení pomocí uhlíkových lamel tloušťky 1.4 mm, f_{fu} je rovno 1023 MPa, na obrázku 3 jsou zobrazeny průběhy momentu a průhybu pro 4 různé varianty:

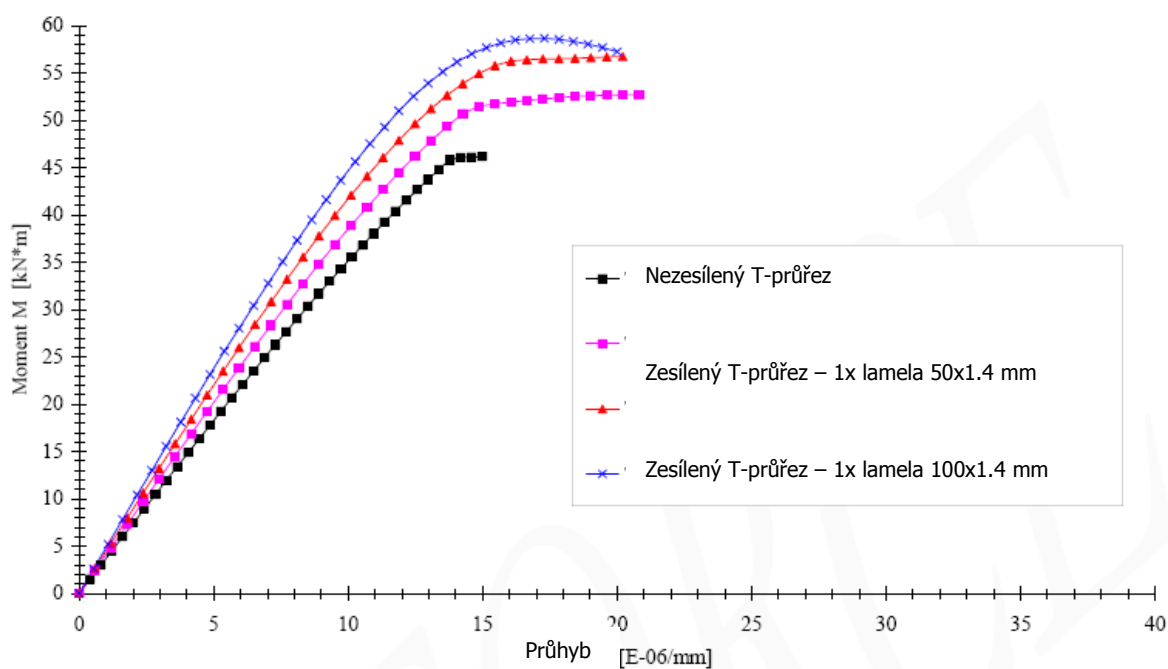
- nezesílený průřez
- průřez zesílený nalepením 1 x lamela Carbopree 50 x 1.4 mm
- průřez zesílený nalepením 1 x lamela Carbopree 100 x 1.4 mm
- průřez zesílený nalepením 3 x lamela Carbopree 50 x 1.4 mm (vedle sebe)

Pokud uvažujeme pouze obdélníkový průřez trámu, dojde k porušení rozdrčením, zvýšení ohybové tuhosti tedy přidáním tažené výztuže není velké (z 28 kN.m na 32 kN.m), viz obrázek 3.

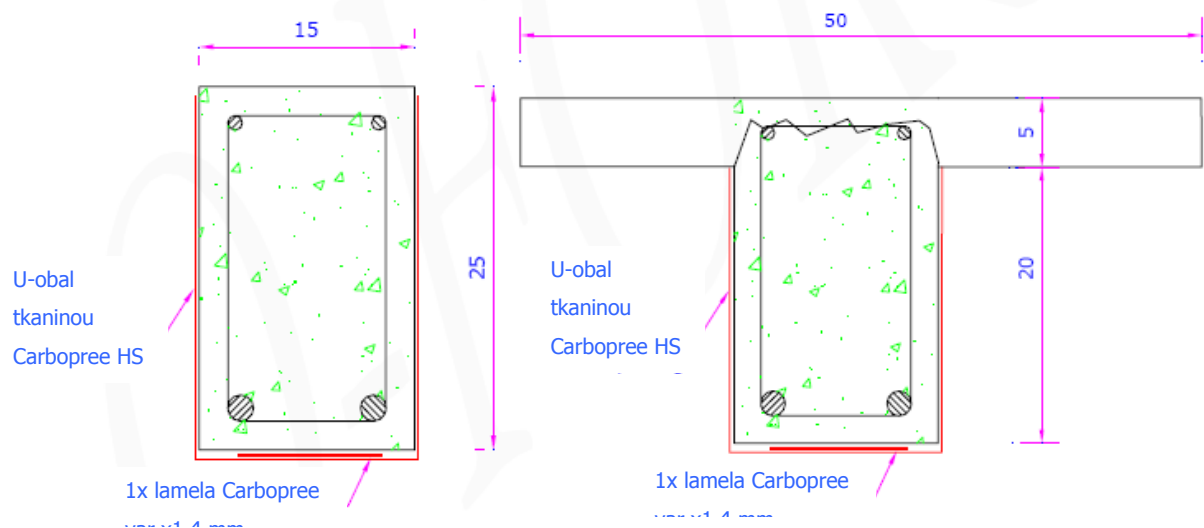
Na obr. 4 je zobrazen průběh v případě započítání vlivu nadbetonované desky při zesílení taženou výztuží na spodní straně trámu, viz obr. 5. Ohybová pevnost může narůst z 28 kN.m až na 58 kN.m.



Obr. 3 - Průběhy momentů a průhybů



Obr. 4 - Průběhy momentů a průhybů



Obr. 5 – Zesílení průřezu

Literatura

- [1] ČSN 10550 Zatížení konstrukcí a namáhání stavebních látek
- [2] ČSN 73 14331 Navrhování zděných konstrukcí (nahrazena 731101 ČSN EN 1996-1-1)
- [3] Zákon 10.4.1886 č.40 z.z, platný pro Prahu, Plzeň a České Budějovice
- [4] ČSN 730038 Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách (1986),
nahrazena ČSN ISO 13822
- [5] ČSN 730040 Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva (1996)
- [6] ČSN 731101 Navrhování zděných konstrukcí (1981), nahrazena ČSN EN 1996-1-1
- [7] ČSN 730035 Zatížení stavebních konstrukcí (1986), nahrazena ČSN EN 1991-1-1
- [8] www.marpo-ova.cz/stavebne-technicke-pruzkumy/svisle-nosne-konstrukce
- [9] www.marpo-ova.cz/stavebne-technicke-pruzkumy/svisle-nosne-konstrukce
- [10] www.msstavby.blog.cz/rubrika/administrativni-budova-biskupska
- [11] www.stavebnictvi3000.cz/obr/clanky2/2010_03_realsan_4.jpg
- [12] Solař, J.: *Poruchy a rekonstrukce zděných staveb*. Grada Publishing, a.s., Praha, 2008.
ISBN 978-80-247-2672-4
- [13] www.hsps.estranky.cz/clanky/sanace.html
- [14] www.chatar-chalupar.cz/index.php?cid=70
- [15] www.casopisstavebnictvi.cz/clanek.php?detail=782
- [16] http://www.casopisstavebnictvi.cz/zesilovani-stavebnich-konstrukci-dodatecne-lepenou-kompozitni-vyztuzi_A1126_I21
- [17] Minova Bohemia s.r.o., (archiv)
- [18] Minova Bohemia s.r.o., (archiv)
- [19] Minova Bohemia s.r.o., (archiv)
- [20] Minova Bohemia s.r.o., (archiv)
- [21] Minova Bohemia s.r.o., (archiv)
- [22] Minova Bohemia s.r.o., (archiv)
- [23] www.usisro.cz/foto_sanace.html
- [24] www.efisan.cz/injektaze
- [25] www.drizoro-cz.cz
- [26] Minova Bohemia s.r.o., (archiv)
- [27] www.sanacebetonu.com/main.php?str=reference.php
- [28] www.naseinfo.cz/stavby-a-stavebnictvi/rekonstrukce/sanace/jak-na-sanace-vlhkych-staveb-polyuretanovymi-pryskyricemi

- [29] Balík, M. a kol.: *Odvhlčování staveb*. Grada Publishing, a.s., Praha, 2008.
ISBN 978-80-247-2693-9
- [30] Balík, M.: *Vysušování zdiva I.* . Grada Publishing, spol. s.r.o., Praha, 1999.
ISBN 80-7169-856-3
- [31] Balík, M.: *Vysušování zdiva II.* . Grada Publishing, spol. s.r.o., Praha, 1997.
ISBN 80-7169-440-1
- [32] Balík, M.: *Vysušování zdiva III.* . Grada Publishing, spol. s.r.o., Praha, 1999.
ISBN 80-7169-737-0
- [33] Balík, M.: *Vysušování zdiva v příkladech.*. Grada Publishing, a.s., Praha, 2010.
ISBN 978-80-247-3045-5
- [34] Bažant, Z., Klusáček, L.: *Statika při rekonstrukcích objektů*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2008. ISBN 978-80-7204-583-9
- [35] Kabrede, H.-A.: *WTA – směrnice 4-5-99 – Posuzování zdiva – diagnostika zdiva*. ÚIV, Nakladatelství TAURIS, Praha, 2004. ISBN 80-02-01539-8
- [36] Kabrede, H.-A.: *WTA – směrnice 4-3-98/D – Oprava zdiva – stabilita a únosnost*. ÚIV, Nakladatelství TAURIS, Praha, 2004. ISBN 80-02-01540-1
- [37] Kohout, J., Tobek, A.: *Zednictví – Tradice z pohledu dneška*. Grada Publishing, s.r.o., Praha, 1998. ISBN 80-7169-653-6
- [38] Kos, J.: *Rekonstrukce pozemních staveb*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 1999. ISBN 80-7204-132-0
- [39] Witzany, J.: *Konstrukce pozemních staveb – rekonstrukce a poruchy staveb II.* . Ediční středisko ČVUT, Praha, 1990. ISBN 80-01-00349-3
- [40] Witzany, J.: *Poruchy a rekonstrukce zděných budov*. Nakladatelství ŠEL, spol. s.r.o., Praha, 1999. ISBN 80-902697-5-3
- [41] Witzany, J., Čejka, T., Wasserbauer, R., Zigler, R.: *PDR – Poruchy, degradace a rekonstrukce*. Nakladatelství ČVUT, Praha, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9
- [42] Zákon č.211/1919 Sb., o stavebních úlevách pro Prahu
- [43] Zákon o stavebním ruchu, doplněk stavebních řádů (1886)